

南堡凹陷主动裂谷多幕拉张与油气关系

丛良滋

(石油勘探开发科学研究院, 北京 100083)

周海民

(冀东石油勘探开发公司, 唐山 063004)

南堡凹陷为渤海湾盆地北侧的一个小型含油气凹陷, 其构造演化在渤海湾的诸多断陷中具有很强的代表性。该凹陷不仅具有明显的主动裂谷演化特征, 而且是一个中、新生代叠合发育, 经多幕裂陷演化, 油气资源极为丰富的小型含油气凹陷。印支期, 本区处于裂谷前的基底隆起剥蚀阶段。燕山—喜山期, 凹陷经历了四幕裂谷作用演化和一幕构造再活化作用的改造。其四幕裂谷作用包括燕山早期裂谷一幕发育期、燕山晚期裂谷二幕发育期、早第三纪始新世—渐新世中期裂谷三幕发育期及早第三纪渐新世中晚期—晚第三纪中新世早期裂谷四幕发育期。晚第三纪中新世中期以来, 该区构造性质发生明显转变, 即由中新世早期的构造衰弱期转化为新的构造活化期, 主要表现在: 断裂作用加剧、拉张作用增强、沉积速率加快。上述各幕构造过程对南堡凹陷的油气生成及富集规律具有明显不同的作用。

关键词 南堡凹陷 主动裂谷 多幕拉张 构造再活化 裂谷成油

第一作者简介 丛良滋 男 33 岁 博士研究生 岩石学与石油地质学

1 典型的主动裂谷型凹陷

南堡凹陷位于华北地台东北部, 燕山台褶带南麓, 是渤海湾盆地北侧的一个小型含油气凹陷

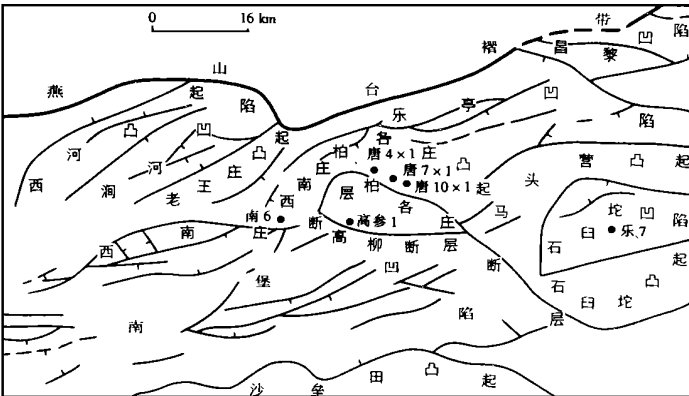


图 1 南堡凹陷及邻区构造纲要图

(图 1)。该凹陷虽然面积只有 $1\,932\text{ km}^2$, 但油气资源却十分丰富, 在渤海湾盆地众多箕状断陷中颇具特色。在凹陷属性上它具有典型主动裂谷的特征, 在演化上具有多幕拉张, 中、新生代继承性发育的特点, 是一个中新世上下叠置的复合型凹陷。

裂谷盆地演化的动力学机制可概括为两种类型, 即主动裂谷与被动裂谷。主动裂谷演化受控于软流圈的上隆; 被动裂谷演化起因于远场应力作用。这

两种机制的区别, 并不在于裂谷盆地演化过程中是否有软流圈的上隆及岩浆发育, 而取决于热隆作

用及大规模的岩浆作用何时发生^[1]。主动裂谷不仅应具备早期隆起的证据, 而且在裂谷阶段, 尤其是裂谷作用前或与同裂谷期应有大量玄武岩, 特别是高原玄武岩或泛流玄武岩的产出^[1]。大陆主动裂谷的岩浆作用通常以拉斑玄武岩和碱性拉斑玄武岩为主, 并以双峰式火山组合为特征, 但我国东部中、新生代裂谷盆地群的岩浆作用与世界某些大陆裂谷区相比存在一定的差异, 主要表现于, 在双峰式火山组合中长英质组所占份额很少^[2]。

南堡凹陷为中国东部中、新生代大陆裂谷的组成部分, 其演化具有明显的主动裂谷特征, 主要证据如下:

(1) 区域研究结果表明, 南堡凹陷经历了明显的裂谷前隆起演化阶段, 其隆起最高部位位于凹陷的高参 1 井—唐 4×1—唐 7×1 井—唐 10×1 井区(图 1), 最大剥蚀厚度约 2 km, 剥蚀速率约 0.057 mm/a。

(2) 本世纪 70~80 年代, 国家地震局在南堡凹陷北部, 柏各庄地区以北完成了大量 DSS(深部地震探测)剖面, 解释结果表明柏各庄地区附近为一明显的地幔隆起区, 其地壳厚度为 32 km, 软流圈埋深只 50 km 左右^[3]。

(3) 据本区大地电磁反演所获得的地壳及上地幔的电性结构剖面^[4], 南堡凹陷深部低阻层所反映的软流圈埋深亦为 50 km(图 2)。

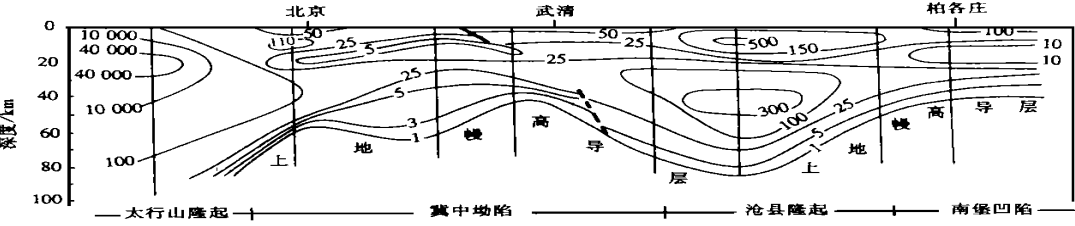


图 2 北京-柏各庄地区岩石圈电性结构剖面图(据文献 4)
(电阻率单位: $\Omega \cdot m$)

(4) 南堡凹陷火山作用非常发育, 现已识别出六套具有区域性分布的火山岩组合, 即早白垩世火山岩、下第三系沙河街组三段火山岩、下第三系沙河街组一段火山岩、下第三系东营组三段火山岩、下第三系东营组一段火山岩和馆陶组火山岩。研究表明: ①火山岩的双峰式组合明显以超基性—基性火山岩为主; ②基性火山岩主要为拉斑玄武岩和碱性拉斑玄武岩; ③早白垩世及晚第三纪基性玄武岩来源于原生或近原生的幔源岩浆, 早第三纪基性玄武岩来源于分异的幔源岩浆。上述火山作用特征为主动裂谷的典型响应。

2 多幕裂谷演化过程

对渤海湾盆地的多期裂谷作用, 前人早有论述, 通常划分为三个裂谷演化阶段, 即早侏罗世门头沟组断陷期、早白垩世青山组断陷期和早第三纪孔店组、沙河街组、东营组断陷期^[5]。笔者经过研究后认为, 中、新生代以来南堡凹陷与上述渤海湾盆地构造演化规律大体相似, 但其第三纪构造演化还赋有许多新的特点, 主要表现在两个方面。第一, 新生代裂谷演化具有明显的多幕发育特点(图 3); 第二, 晚第三纪中新世中期以来的构造性质发生明显转变, 即由中新世早期的构造衰弱期转化为新的构造活化期, 主要表现在: 断裂作用加剧、拉张作用增强、沉积速率加快。这些新的特点在渤海湾盆地的诸多断陷中应具有一定的代表性。

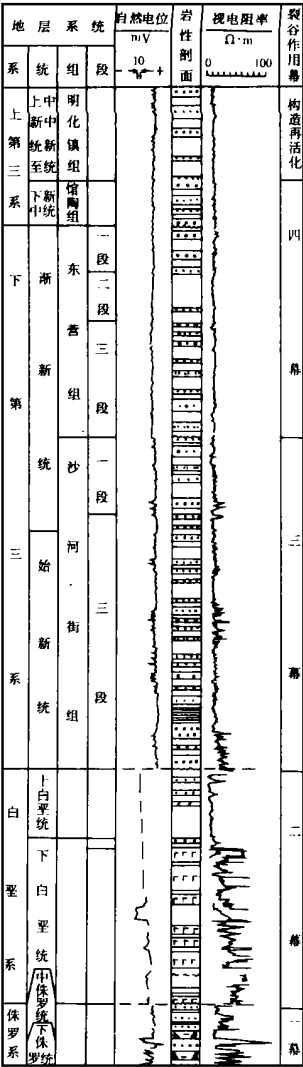


图 3 南堡凹陷幕式作用阶段划分

2 1 中生代裂谷盆地演化阶段

由于南堡凹陷内中生界埋藏较深, 探井控制程度低(仅高参 1 井钻穿了中生界), 现有地震资料对深部地层分辨能力差, 因此, 其中生代构造演化认识程度较低。经综合研究, 中生代为南堡凹陷的初期及早期裂谷演化阶段, 在该构造阶段中, 不仅凹陷的主要边界断裂均已形成, 并且沉积了 1 000~1 500 m 厚的地层。

2.1.1 燕山早期裂谷一幕发育阶段

早、中侏罗世为裂谷一幕构造期。该期裂陷作用的显著特点是: 断陷深度相对较浅, 断陷规模小, 火山作用强度弱, 沉积作用以含煤、含煤质页岩的陆源碎屑体系为特征。早、中侏罗统厚度共计 200~500 m, 表明该发育阶段裂陷强度弱, 规模小, 具有裂谷初期阶段的特征。

根据地震及已有钻井资料分析, 南堡凹陷在该幕裂谷作用中, 仅部分边界断裂(西南庄断层 NNE 段及柏各庄断层)开始发育, 凹陷的主体构造轮廓尚未形成, 但已明显接受了裂谷一幕的沉积作用。

中侏罗世末, 由于太平洋板块向欧亚板块的强烈俯冲, 本区产生了强烈的 NW—SE 向挤压。这期挤压作用的结果: ①使先存地层产生近东西向剪切破裂, 形成了燕山南缘的宁河—昌黎断裂及北塘凹陷—南堡凹陷北缘的汉沽—西南庄断裂; ②在近东西向剪切断裂带之间形成了一系列派生的 NE 向背斜构造带, 这些背斜构造带与上述近东西向断裂带以锐角相交, 其所指示构造运动方向为右旋剪切构造变形。

晚侏罗世, 本区处于隆升剥蚀阶段, 因而, 裂谷一幕盆地萎缩期产物不发育。

2.1.2 燕山晚期裂谷二幕发育阶段

早白垩世早期(K₁)区内发生二次断陷, 与裂谷一幕相比, 活动更为强烈, 主要表现在: 断裂深度大, 火山活动强烈, 断陷分化性明显。在这次断陷过程中, 南堡凹陷主要的边界断裂均已形成, 并控制了白垩系的沉积。

晚白垩世末—新生代古新世末, 本区又处于隆升剥蚀阶段。

2 2 新生代裂谷盆地演化阶段

新生代第三纪为南堡凹陷的主要断陷发育期, 无论是凹陷的沉积充填样式, 还是凹陷的构造演化特征, 都显示出极为明显的幕式裂陷特点。

2.2.1 裂谷三幕(沙河街组)发育阶段

2.2.1.1 沉积特征

本区沙河街组自上而下分为三段, 即沙一段、沙二段和沙三段, 但在区内仅能分出沙三段和沙一段。

从沉积特征看, 本区裂谷三幕可分为两个阶段, 即沙三段的构造沉降阶段和沙一段的热沉

降阶段。在构造沉降阶段中,早期主要发育低水位体系域的粗碎屑冲积体系;中期以湖泊体系及扇三角洲体系为主;晚期又以湖盆萎缩期的粗碎屑冲积扇—冲积平原体系为特征。在热沉降过程中,沉积作用主要表现为两大特点:一是在全区范围内沉积厚度较为稳定;二是沉积组合所反映的沉积环境也较为稳定,即沉积作用以浅水湖泊体系、湖泊三角洲体系共同发育为特征。

2.2.1.2 构造特征

从南堡凹陷的构造演化特征及各剖面拉张作用的定量计算结果(图4)看,本区沙河街期的拉张作用表现出明显的先强后弱的特点。沙三时是本区最强烈的构造拉张期,其最大递进拉张系数高达13.0%,最大递进拉张速率为893 m/Ma;沙一时构造拉张程度较低,其最大递进拉张系数仅有5.4%,最大递进拉张速率为423 m/Ma。

2.2.2 裂谷四幕(东营—馆陶期)发育阶段

南堡凹陷裂谷四幕演化的最显著特点是,由于高柳断层的强烈活动,沉积中心发生明显偏移,即沙河街期高柳断层以北的沉积中心已经衰竭,以南的沉积中心继承发育。

2.2.2.1 沉积特征

裂谷四幕沉积作用同样可以分为两大阶段,即东营期的构造沉降阶段和馆陶期的热沉降阶段。在构造沉降的早期阶段,即东三段的早期,盆地内主要发育粗碎屑的冲积体系;中期,即东三段中后期—东二段,凹陷内的沉积主要以湖泊体系、扇三角洲体系或湖泊三角洲体系为主;晚期,即东一段,则又表现为粗碎屑的冲积体系。在热沉降过程中,凹陷内主要形成了一套以冲积体系为主的河流相沉积。

2.2.2.2 构造特征

从平衡剖面研究结果看,本区裂谷四幕构造演化具有以下特点:(1)从东三时初至馆陶期末,构造演化具有明显的阶段性,即早期构造活动较为强烈,晚期构造活动很弱;(2)凹陷内主要构造带于东二时末均已定形;(3)从断层的演化过程看,凹陷的断层可分为三种类型,即长期继承发育型、多幕断裂作用型和一次断裂型。

从平衡剖面的定量计算结果(图4)看,不同剖面所反映的规律非常一致。东三时为裂谷四幕的构造最活跃期,向馆陶期拉张系数逐渐减小。馆陶期为拉张作用的最微弱期。东三时的最大递进拉张系数为6.5%,馆陶期仅有1.6%;东三期的最大递进拉张速率高达946.4 m/Ma;馆陶期仅为87.3 m/Ma。

2.2.3 明化期的构造再活化阶段

前人普遍认为晚第三纪渤海湾盆地曾整体下沉,形成了以冲积体系为主的河流相沉积,即处于构造发育的衰弱期——盆地演化的热沉降阶段。笔者认为渤海湾盆地中新世早期(馆陶期)与中新世中期以后(明化镇期—第四纪)应分属不同的构造演化阶段,即中新世早期为明显的构造衰弱期,而中新世中期以后则进入新的构造再活化期。该构造再活化作用具体表现在

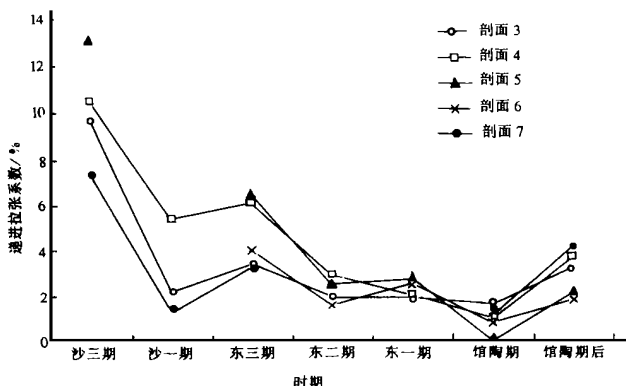


图4 南堡凹陷各剖面递进拉张系数曲线图

以下三个方面。第一,从平衡剖面研究结果看,馆陶期断裂作用极不发育,而进入明化镇期以来断裂作用产生了一个新的高峰期。第二,馆陶期拉张作用普遍较弱,而明化镇期的拉张作用明显增强。经定量计算,南堡凹陷馆陶期的最大递进拉张系数仅有 1.6% ,平均递进拉张系数约 0.9% ,最大递进拉张速率为 87.3 m/Ma ,平均递进拉张速率仅有 38.4 m/Ma ;而明化镇—第四纪的最大递进拉张系数为 4.1% ,平均递进拉张系数约 3.0% ,最大递进拉张速率为 123.8 m/Ma ,平均递进拉张速率为 79.9 m/Ma 。第三,馆陶期与明化镇期的沉积速率也相差较大。南堡凹陷馆陶期的平均沉积厚度仅有 393 m ,平均沉降速率为 0.038 mm/a ;明化镇期的平均沉积厚度高达 1531 m ,平均沉降速率为 0.123 mm/a ,即明化镇期的沉降速率约为馆陶期的 3.2 倍。

须进一步指出的是,由于渤海湾盆地凹陷成熟油气的主要排烃期多发生在馆陶期—明化镇中期,因此,各凹陷中新世中期以来的构造再活化作用,对渤海湾盆地的油气聚集及渤海湾盆地进一步深化勘探、优选靶区都具有十分重要的意义。

3 裂谷演化与油气关系

由于多幕裂谷作用,南堡凹陷中、新生代以来产生了多期成盆演化期,形成了多套烃源层及多种储盖组合,造就了多套含油气系统,为油气的富集奠定了坚实的基础。

3.1 裂谷一、二幕构造演化与油气的关系

由于本区中生界埋藏很深,勘探程度低,凹陷中生界及其与油气的关系,前人未曾进行研究。经区域对比,笔者认为南堡凹陷在裂谷一幕及二幕期可能形成了两套潜在的烃源层。裂谷一幕所形成的侏罗系在凹陷北侧广泛存在,高参1井揭露齐全,最有代表性的是凹陷北侧的南6井(图1),其侏罗系中有煤层24层 41 m ,各种暗色泥岩38层 103 m ,具备一定的烃源岩条件。裂谷二幕形成的地层在南堡凹陷东侧的石臼坨凹陷中揭露齐全,地球化学研究结果表明,不仅具备一定的烃源岩条件,而且已进入成熟期。现凹陷内所发现的大量凝析气及天然气很可能与上述两套潜在的烃源层有关。

3.2 裂谷三、四幕构造演化与油气的关系

裂谷三幕构造演化对南堡凹陷具有极为深远的意义,它不仅形成了一套凹陷内最有利的已知烃源层(沙三段)、一套次要烃源层(沙一段)和多套主要含油目的层,而且,对主要构造带的形成奠定了基础。目前冀东油田的主要开发区块,高尚堡和柳赞油田的主力开发层系均为该幕裂谷作用的产物。

裂谷四幕演化期是南堡凹陷油气成藏的关键阶段,因为它不仅在凹陷内形成了一套新的有利烃源层(东三段)和多套含油目的层,而且,是凹陷内各构造带的主要构造定型期。由于受裂谷四幕演化期沉积中心迁移的影响,凹陷北侧的拾场次洼逐渐衰竭,凹陷西、南侧的林雀次洼及曹妃甸次洼继承发育。北侧拾场次洼主力烃源层裂谷四幕末期进入成熟油期,西、南侧林雀次洼及曹妃甸次洼的下部烃源层(沙三段以下)已进入成气阶段,上部烃源层已进入成熟油期。

3.3 上新世以来构造再活化期与油气的关系

明化镇期以来的构造再活化作用具有两种明显不同的作用。其有利因素表现在:一是使地层发生断块旋转,形成一些有利的反向屋脊断块;二是使多期活动的“分段断层”成为一条贯通型油源断层;三是形成一些反向断层,为圈闭的形成构成良好的遮挡条件。目前凹陷内已发现的多数浅层油气藏多与该期构造再活化作用有关。其不利因素表现在:它可使早期已聚集

的油气产生分散, 对原生油气藏具有明显的破坏作用。

目前, 南堡凹陷已发现的油气主要与下第三系含油气系统有关, 为凹陷最有利的含油气系统, 但中生代含油气系统也应是南堡凹陷的重要勘探目标。由于凹陷内中生代地层埋藏很深, 其烃源层必然具备早期成烃、早期排烃的演化过程, 并处于油气演化高成熟阶段, 必然会给南堡凹陷的深层勘探带来新的曙光。

本文是笔者在恩师李德生院士悉心指导下完成的, 在此谨向恩师表示最诚挚的谢意!

参 考 文 献

1 Ziegler P A. Geodynamic processes governing development of rifted basins. In: Roure F, Ellouz N, Shein V S, et al, eds. Geodynamic evolution of sedimentary basins. Paris: Technip, 1996. 19~ 67

2 邓晋福, 叶德隆, 赵海玲, 等. 下扬子地区火山作用深部过程与盆地形成. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 155~ 156

3 刘昌铨, 嘉世旭. 唐山地震区地壳上地幔结构特征——二维非均质介质中理论地震图计算和结果分析. 地震学报, 1986, 8(4): 341~ 353

4 赵国泽, 刘国栋, 王家映. 北京-柏各庄剖面连续介质大地电磁反演解释. 地震学报, 1986, 8(2): 179~ 190

5 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律. 海洋地质研究, 1981, 1(1): 3~ 20

POLYPHASE PULLS AND APARTS OF ACTIVE RIFT IN NANPU DEPRESSION AND THEIR RELATIONSHIP WITH OIL AND GAS

Cong Liangzi

(Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing)

Zhou Haimin

(Jidong Petroleum Exploration and Development Company, CNPC, Tangshang, Hebei)

Abstract

Nanpu depression, located in the north of the Bohai Gulf Basin, is a small Mesozoic-Cenozoic superimposed sag with abundant hydrocarbon resources. It is characterized by the geodynamic regime of active rifting with polyphases of extension. During the Indo-Chinese epoch, Nanpu Depression experienced a prerifting and erosion stage with the maxim erosion thickness of 2 km. Since the Early Jurassic, Nanpu Depression has experienced an evolution of four phases of rifting and a period of tectonic reactivation. The four phases of rifting took place in Early Mesozoic, Late Mesozoic, Eocene to Mid-Oligocene and Mid-Oligocene to Miocene respectively. Different stages of tectonic evolution played different roles in the hydrocarbon generation and occurrence of the depression.